

Our Docket: 442-117
Serial No.: 09/808,591

DATE: January 24, 2003

FACSIMILE TRANSMISSION COVER SHEET

TO: Examiner Iraj A. Mohandesi
Group Art Unit 2834

FAX NO.: 703-872-9314

FROM: Rod S. Turner, Esq.

SENDER: Joyce Peterson

**HOFFMANN & BARON, LLP
ATTORNEYS AT LAW**

● **NY OFFICE**

6900 JERICHO TURNPIKE
SYOSSET, N.Y. 11791

TELEPHONE: 516-822-3550
TELECOPIER: 516-822-3582

NJ OFFICE

1055 PARSIPPANY BOULEVARD
PARSIPPANY, N.J. 07054

TELEPHONE: 973-331-1700
TELECOPIER: 973-331-1717

NUMBER OF PAGES TO FOLLOW: 33

CONFIDENTIALITY NOTICE

The document(s) contained in this transmission is(are) confidential and/or legally privileged information of the law firm of Hoffmann & Baron, LLP. This information is intended for use by the individual or entity named on this transmission cover sheet.

If you are not the intended recipient, please be advised that any disclosure, copying, distribution or action taken in reliance on the contents of this information is strictly prohibited. If you have received this telecopy in error, please notify us immediately by telephone so that we can arrange for its return.

If there are any problems with this fax, please call the office location marked above. Thank you for your cooperation.

RECEIVED
JAN 28 2003
TECHNOLOGY CENTER 2800

Official

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Applicant(s)	Hartrampf	Examiner:	Mohandesi, Iraj A.
Serial No.:	09/808,591	Group Art Unit:	2834
Confirmation No.:	4562	Docket:	442-117
Filed:	March 14, 2001	Dated:	January 24, 2003
For:	DIRECT ELECTRODYNAMIC LINEAR DRIVE		

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231**Certificate of Facsimile Transmission**

I hereby certify that this paper is being facsimile transmitted to the U.S. Patent and Trademark Office on the date shown below:

Date: January 24, 2003Signature: Joyce Peterson**TRANSMITTAL OF CERTIFIED TRANSLATION OF PRIORITY DOCUMENT**

Sir:

An English translation of the European priority document EP 00105702.5 corresponding to the above-identified application is being submitted herewith in accordance with MPEP § 201.15 and a request by the Examiner. In view of the foregoing submission, allowance of pending Claims 1-11 are respectively and earnestly solicited.

Respectfully submitted,

A handwritten signature of Rod S. Turner.

Rod S. Turner
Registration No.: 38,639
Attorney for Applicant(s)HOFFMANN & BARON, LLP
6900 Jericho Turnpike
Syosset, New York 11791
(516) 822-3550
167585_1

Certification of English Translation

I, Arthur Richard Lawrence-Friedel, with a post office address of Mühlbergstraße 3, 82319 Starnberg, Germany, an officially appointed translator hereby certify that the following 15 page English text is a full, accurate and true translation of the accompanying 16 page German language text which I am informed is a copy of the Priority Document EPO 00105702.5, which has a filing date of March 17, 2000, and I declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code.

By Arthur Richard Lawrence-Friedel

A.R. Lawrence-Friedel

Executed this 23th day of January 2003



--A DIRECT ELECTRODYNAMIC LINEAR DRIVE--

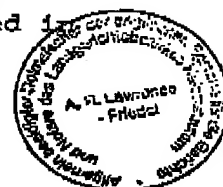
5 The invention relates to a direct electrodynamic
linear drive comprising a drive coil system made up of a
plurality of adjacently arranged coils, said system being
adapted to be operated by a switched exciting voltage, and
a plurality of adjacently arranged permanent magnets,
10 means being provided for relatively moving on the one hand
permanent magnets and the drive coil system on the other
hand.

15 In the case of a previously proposed linear direct
drive disclosed in the German patent publication
19,748,647 A1 the coils are arranged on the inner side of
a ferromagnetic tube, whereas the permanent magnets are
able to be moved within the drive coil system. It is more
especially in the case of elongated arrangements that this
leads to substantial bearing problems for the permanent
20 magnets able to be moved within the coils and a force
transmitting element must be fixed to the magnets.

One object of the invention is to create an
electrodynamic linear drive, in the case of which the
armature may be simply and reliably supported by bearing
means even in the case of an extremely long drive.

25 This aim is to be achieved in accordance with
invention by the features of claim 1.

The ferromagnetic tube surrounding and holding the
drive coil system has a multiple function and serves on
the one hand as a guide element for the armature and on
30 the other hand as a magnetic return member for containing
the magnetic field. Such a ferromagnetic tube can be
reliably and exactly guided on the outer side by
longitudinal guide bearings readily for longitudinal
movement, whereas the drive coil system may be fixed in
35 the interior of the tube or, respectively, of the
permanent magnets in a stationary manner.



The measures recited in the dependent claims represent advantageous further developments and improvements of the direct linear drive specified in claim 1.

It is an advantage for the tube to be slidably mounted in a longitudinal duct in a housing, the drive coil system extending into the longitudinal duct from one end. This means that a direct linear drive can be manufactured with an extremely small housing cross section and a great longitudinal extent.

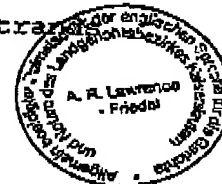
In order to ensure that the drive coil systems is centered in the ferromagnetic tube with relatively small distances from the permanent magnets a non-ferromagnetic guide tube extends along radial inner faces of the permanent magnets, at least one support element being arranged additionally on the elongated core for sliding or rolling along the inner face of the guide tube.

The radially magnetized permanent magnets fit about the drive coil system and are more particularly made up of radially or diametrically magnetized magnet segments or magnet shells.

The guide tube and the permanent magnets may possess a round, oval-like or prismatic cross section, all non-round cross sections preventing relative rotation.

A particularly compact and readily handled arrangement is one in which the housing has integrated in it an electronic regulating and/or control system and/or power system for electrically supplying the drive coil system and/or an electrically operated brake means for the armature.

The cylindrically wound drive coil system can have one or more strands, and in the case of several coil strands they will be placed on the core in sequence with axially alternating directions of winding. The width of a coil will in this case be equal to the width of a permanent magnet divided by the number of coil strands.



In the case of a multi-strand drive coil system it is convenient to provide for electronic or mechanical commutation of the coil strands in accordance with their respective position in relation to the permanent magnets of the armature.

In order to find the armature position a displacement measuring system is provided in the housing, the drive coil system preferably being designed as a displacement measuring system.

In the case of a preferred design of such an integrated displacement measuring system the drive coil system is placed in circuit as a differential choke system, wherein by having regions with different magnetic saturation in the iron of the core, caused by the magnets of the armature, changes in inductance are caused and owing to the motion of the armature are correspondingly shifted out of position, a detecting and evaluating means being provided responsive to the inductance states in the inductance fractions of the differential choke system and therefrom finding the position. Such an integrated displacement measuring system is of independent significance as a subcombination and may also be employed in other direct linear drives, in the case of which a permanent magnet arrangement is able to be shifted in relation to the drive coil system and the latter comprises coils in a row on a ferromagnetic core.

Working embodiments of the invention are represented in the drawing and described in detail in the following account in conjunction with the accompanying drawings.

Figure 1 is a diagrammatic section-like overall view of an electrodynamic direct linear drive as one embodiment of the invention.

Figure 2 shows part of a similar arrangement in the case of which the axial length of the



drive coil system is larger than that of the permanent magnet arrangement.

Figure 3 is a representation to explain the circuit connections of the coil parts of the drive coil system.

Figure 4 shows a known evaluating or processing circuit for a displacement or travel measuring system in the form of a differential choke system.

Figure 5 is a signal graph for explaining the workings of the system.

In the case of the embodiment of the invention depicted in figure 1 in the form of an electrodynamic direct linear drive a housing 10 has a blind hole, in which a ferromagnetic tube 11 is guided by means of bearing units 12 for longitudinal motion. The bearing units 12 engage the outer face of the tube 11 and are in the form of plain or anti-friction bearing arrangements. Same fit as keys in longitudinal grooves, not illustrated in detail, in the ferromagnetic tube 11 to prevent relative rotation. As an alternative to this it is possible for the ferromagnetic tube 11 to have an oval-like or a prismatic cross section instead of a round one, such cross section then in itself preventing relative rotation.

Radially or diametrically magnetized permanent magnet rings composed of magnet segments or magnet shells, which themselves are radially or diametrically magnetized, are placed in the tube 11 acting as a guide tube, such rings being in the following termed magnets 13, which are so arranged and so fixed to the bore of the tube 11 that in the axial direction there is an alternating field sequence with a radial alignment of the field. The tube 11, which



for example is in the form of a steel tube, constitutes the armature of the direct linear drive and serves to receive the magnets 13 as a magnet return means for containing the magnetic field and as a guide tube.

The stator arranged within the armature essentially comprises a ferromagnetic core 14, which may be in the form of a steel or iron core of round solid or tube material, on which a cylindrically wound drive coil system 15 is provided. The core 14 provided with the drive coil system 15 is here fixed to one end on the inner side of the housing 10 and extends out into the blind hole or, respectively, the ferromagnetic tube 11 from the inner side of the housing 10. The inner side of the magnets 13 is provided or lined with a non-magnetic, thin-walled tube 16, whose bore serves as a sliding face for a support element 17, which is mounted on the free end of the core 14 and itself is designed in the form of a plain or anti-friction bearing. By means of this support element 17 the core 14 and the drive's coil system 15 are reliably guided within the magnets 13 with a minimum gap therebetween.

If the ferromagnetic tube 11 has a non-round cross section then the components contained in it will naturally be suitably shaped to comply.

The end protruding from the housing 10 of the armature or, respectively, tube 11 is connected at its end by way of a connecting element 18 with a rod 19, which extends in parallelism to the tube 11 into a hole in the housing 10 and is guided for motion therein. This rod 19 extends through a brake means 20, with the aid of which the respective position of the armature may be held, for example electrically. Such brake means 20 are known in a large number of different types so that a more detailed description thereof is unnecessary. Furthermore, such rod 19 and/or the tube 11, directly cooperating with the sensor means 21 extending in parallelism thereto, constitutes a displacement measuring system for finding the respective position of the armature. As will be



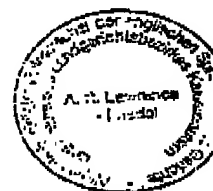


Figure 2 shows just a part of a stator and an armature on a larger scale to indicate the other case, i. e. the drive coil system 25 depicted there is longer than the permanent magnet arrangement consisting of four magnets 26, and longer than the corresponding armature. A ferromagnetic tube 27 is correspondingly shortened which receives the magnets 26 and an inner non magnetic thin-walled tube 28 is also shortened. In this arrangement the magnet volume is optimally used, the partly unused coil regions producing unnecessary heat. On the other hand the armature's mass in such an arrangement is reduced, something which improves the dynamic properties. In figure 2 the magnetic field lines are diagrammatically represented by chained lines and the direction of winding of the coil parts of the drive coil system 15 are indicated using conventional symbols.

As a source of power for the electrodynamic direct linear drive of figure 1 only one power supply connection (not illustrated) and only one control connection with an external central arrangement are required, such connections being for example in the form of a field bus or a binary bus. All initializing and regulation operations are implemented by the integrated electronic circuitry, something which renders the unit extremely easy to handle and minimizes the amount of wiring necessary.

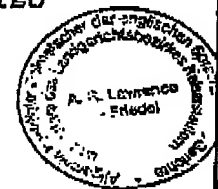
The function of the integrated displacement measuring means is based not, like the prior art of the type initially mentioned, on the measurement of moving, highly permeable cores in the differential choke systems, but on the measurement of changes in inductance caused by saturation phenomena, which are shifted by the movement of the armature, which owing to the magnets 13 is permanently magnetic, and thus cause changes in inductance along the displacement, which changes may then for instance be detected by way of methods indicated in the prior art cited.



Figure 2 shows the principal field configuration of the linear drive with all significant components. Owing to the containment of the field by the core 14 induction changes of different intensity result. Such changes may be split up into regions of weak induction, that is to say also of weak magnetic saturation in the iron, and into regions of strong induction, that is to say of strong magnetic saturation in the iron. From the relationship between induction with the known BH magnetization line of the iron material employed (B meaning induction and H meaning field strength) which may also be represented in a μB characteristic or function, we obtain a certain variation in permeability (μ) in the iron core in the axial direction.

The variation in permeability is linked with the permanent magnets of the armature and accordingly the position of the armature. This variation in permeability may be employed electrically for detecting the position by way of the coil inductance of the drive coil system 25. The coil inductance is dependent on the magnetic resistance and the number of winding turns. The magnetic resistance is for its part not only dependent on the volume of the material or the area and the magnetic length of the field segments (constant in the working example) but also on the permeability.

In order to be able to now use the principle of integrated displacement measurement, it is necessary for the drive coil system 25 and, respectively, 15 to be so designed that a differential choke system is produced. This will be explained with reference to figure 3 and two coil parts 29 and 30 of the drive coil system 25 and, respectively, 15 used in the working embodiment of the invention. In the case of this two strand coil system employed in the working example, in which in the axial direction every second coil part 29 and 30 as connected in series leads to one strand, these coil parts 29 and 30 are again divided up into coil regions 29a and 29b and also



5 respectively 30a and 30b and so wound that there is a
strand divided into two arts in which every first region
part 29a of a coil part 29 is placed in circuit with every
further first coil region 30a of a coil part 30 of the
same strand in series to produce a half strand (the supply
strand) and every second coil region 29a and 29b of the
coil part 29 and 30 is placed in series with one second
half strand (the return strand). The connection point
10 between the supply and return strands is also made
available as a center tap terminal 31 between the end
terminals 32 and 33.

15 Each further strand is placed in circuit in this same
manner. Since now the changing variation in permeability
in the respective coils of a half strand is geometrically
offset on movement of the armature therethrough, in the
respective strand parts (which owing to the connection in
series may respectively be looked upon as single
inductance) sinusoidal inductance variations will result
20 which are offset in relation to each other in accordance
with the distance apart of the coil parts. Owing to the
particular coil circuit arrangement of the half strands
there is now a differential choke system in accordance
with figure 4, which comprises the two inductance parts L_1
and L_2 , in the case of which, unlike prior known designs,
25 there is no core motion. In this differential choke
system it is now possible, using the inductance measuring
method represented in figure 4 and previously proposed in
the cited prior art, to ascertain the ratio between the
two inductance fractions L_1 and L_2 of the half strands of
30 a complete strand.

35 By now plotting the inductance changes of both
complete strands against displacement, we will have the
signal curves indicated in figure 5. The true sine curve
will ideally correspond to the variations in induction in
the iron core (left hand scale) and the asymmetrical
curves will correspond to the computed induction



5 variations in the two strands of the motor windings on
full movement of the armature, which represent the
displacement signal (right hand scale) to be evaluated or
processed. These curves are asymmetrical, since
magnetization characteristics of the material utilized are
non-linear. Measurement of the displacement is now
performed on the one hand by counting the respective
periods and interpolation of the analog intermediate
values so that we have a relative displacement measuring
10 system with absolute displacement interpolation in the
respective segments.

For detection of the position values on the basis of
the signal variations use is made of the known circuit
illustrated in figure 4. As already mentioned the two
15 half strands 34 and 35 of the complete strand of the drive
coil system 25 and, respectively, 25 are connected in
series. Operation takes place by the application of a
pulse width modulated square pulse voltage U_{PWM} , which is
generated in a position or path regulator 36 designed in
the form of microprocessor and by way of a driver stage 37
20 to the half strands 34 and 35.

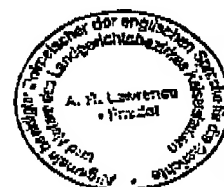
For the measurement of the inductance changes the
voltage drops U_{m1} and U_{m2} across the half strands 34 and 25
are decoupled separately using a respective measuring or
25 precision amplifier 38 and 39 and as regards the signal
level adapted to the following electronic evaluating
circuit. Accordingly representations of the voltage parts
across strands 34 and 35 will be present at the outputs of
the measuring amplifiers 38 and 39. By electronic
30 differentiation in the following differentiating stage 40
and 41 of the voltage signals at the output of the
measuring amplifiers 38 and 39 respectively shortly after
switching over the pulse width modulated setting signal it
is possible for the inductance ratio of the two half
35 strands 34 and 35 to be ascertained which are switched at
the pulse frequency. By subtraction of the rates of
increase of the voltages for the two half strands 34 and



35 by means of a subtraction stage 42 the accuracy of the
detection of the inductance ratio may be increased by
elimination of interfering DC factors. If the detection
of the inductance ratio is always performed at the same
point in time after switching over the setting signal and
intermediately stored in the working example in a sample
and hold means 43 and 44, there will accordingly be a
displacement-dependant quasi-continuous DC signal at the
output of the subtraction stage 42. In extensive parts
thereof this signal will be linearly dependent on the
armature position and consequently corresponds to the
respective true position value x_{1st} of the armature.

The signal x_{1st} present at the output of the
subtraction stage 42 is now employed for regulation by
coupling such signal with a target position value x_{soll} and
deriving from this the control signal. This takes place
in the position or path regulator 36. Accordingly using
the arrangement described it is possible to perform the
displacement and also produce a displacement signal.

The above described displacement measuring system is
not only suitable for electrodynamic direct linear drives
in accordance with the working examples but also for other
electrodynamic direct linear drive, which differ in design
from the working embodiments herein.



Claims

1. A direct electrodynamic linear drive comprising a drive coil system (15 and 25) composed of coils arranged in a row alongside each other on an elongated ferromagnetic core (14), which coil system is able to be supplied with a switched exciting voltage, and a ferromagnetic tube (11 and 27) fitting around the drive coil system (15 and 25), a plurality of permanent magnets (13 and 26) being arranged on the inner side of the said tube in a row alongside each other in the longitudinal direction of the tube (11 and 27), the core (14) being provided with the drive coil system and designed as a stator and the tube (11 and 27) provided with the permanent magnets (13 and 26) being designed as an armature.

2. The direct linear drive as set forth in claim 1, characterized in that the tube (11 and 27) is arranged in a sliding manner in a longitudinal duct in a housing (10), the drive coil system (15 and 25) extending into such longitudinal duct from one end thereof.

3. The direct linear drive as set forth in claim 1 or in claim 2, characterized in that a non-ferromagnetic guide tube (16 and 28) extends along radial inner faces of the permanent magnets (13 and 26) and at least one support element (17) arranged on the elongated core (14), said support element being adapted to slide or roll along the bore face of the guide tube (16 and 28) on motion of the armature.



4. The direct linear drive as set forth in anyone of the preceding claims, characterized in that the radially magnetized permanent magnets (13 and 26) fit around the drive coil system (15 and 25) and more especially are made up of radially or diametrically magnetized magnet segments or magnet shells.

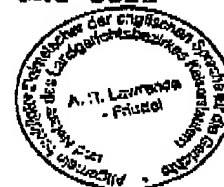
5. The direct linear drive as set forth in anyone of the preceding claims, characterized in that the guide tube (11 and 27) and the permanent magnets (13 and 26) have a round, oval-like or prismatic cross section.

6. The direct linear drive as set forth in anyone of the preceding claims, characterized in that the housing (10) has integrated in it an electronic regulating and/or control system and/or power system (22 and 23) for electrically supplying the drive coil system (15 and 25) and/or an electrically operated brake means (20) for the armature in the housing (10).

7. The direct linear drive as set forth in anyone of the preceding claims, characterized in that the cylindrically wound drive coil system (15 and 25) has one or more strands, and in the case of there being several coil strands such strands are placed in sequence with axially alternating directions of winding on the core.

8. The direct linear drive as set forth in claim 7, characterized in that the width of a coil of the drive coil system (15 and 25) is equal to the width of a permanent magnet divided by the number of coil strands.

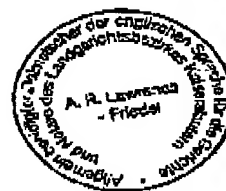
9. The direct linear drive as set forth in claim 7 or in claim 8, characterized in that, said drive coil system (15 and 25) having a plurality of strands, an electronic or mechanical commutating means is provided for the coil



strands in accordance with their respective position in relation to the permanent magnets (13) of the armature.

10. The direct linear drive as set forth in anyone of the preceding claims, characterized in that a displacement measuring system (21) is integrated in the housing (10), the drive coil system (15 and 25) being more particularly designed in the form of a displacement measuring system.

11. An electrodynamic direct linear drive comprising a drive coil system (15 and 25) composed of coils arranged in a row alongside each other on an elongated ferromagnetic core (14), which coil system is able to be supplied with a switched exciting voltage, a permanent magnet arrangement designed in the form of an armature and made up of a plurality of permanent magnets (13 and 26) placed alongside one another in a longitudinal direction, such arrangement being able to be slid in relation to said drive coil system (15 and 25), the drive coil system (15 and 25) also being a component of a displacement measuring system for the armature, more particularly as set forth in claim 10, characterized in that the drive coil system (15 and 25) is located in circuit as a differential choke system (34 and 25) since regions having different iron saturation in the core (14), such saturation being due to permanent magnets (13 and 26) of the armature, cause changes in inductance and owing to the motion of the armature are correspondingly shifted and in that a processing and evaluating means (36 - 44) is provided for ascertaining the inductance variations of the inductance parts (L_1 and L_2) of the differential choke system (34 and 35) and from this the position of the armature.



Abstract of the Disclosure

A direct electrodynamic linear drive comprising a drive coil system (15) composed of coils arranged in a row alongside each other on an elongated ferromagnetic core (14), which coil is able to be supplied with a switched exciting voltage. The drive coil system (15) has a ferromagnetic tube fitting around it, on whose inner side a plurality of permanent magnets (13) are arranged in a row in the longitudinal direction of the tube (11). The core (14) provided with the drive coil system (15) is adapted to function as a stator and the tube (11) having the permanent magnets (13) as an armature. In this arrangement the ferromagnetic tube serves as a guide tube, as a magnetic return member and as a holder means for the permanent magnets, the possibility of a simple and accurate longitudinal guiding of the tube (11) meaning that elongated units with a small cross section may be manufactured.

Figure 1



P 19142/EP

16.03.2000 - rets

FESTO AG & Co, 73734 Esslingen

Elektrodynamischer Lineardirektantrieb

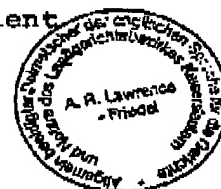
Die Erfindung betrifft einen elektrodynamischen Linear-direktantrieb mit einem aus mehreren, nebeneinander angeordneten Spulen bestehenden Antriebsspulensystem, das von einer getakteten Erregerspannung beaufschlagbar ist, und mit mehreren, nebeneinander angeordneten Permanentmagneten, wobei Mittel zur Relativverschiebung der Permanentmagnete einerseits und des Antriebsspulensystems andererseits vorgesehen sind.

Bei einem derartigen, aus der DE 197 48 647 A1 bekannten Lineardirektantrieb sind die Spulen an der Innenseite eines ferromagnetischen Rohrs angeordnet, während die Permanentmagnete innerhalb des Antriebsspulensystems bewegbar sind. Vor allem bei langgestreckten Anordnungen führt dies zu nicht unerheblichen Lagerproblemen der innerhalb der Spulen bewegbaren Permanentmagnete, und ein Kraftübertragungselement muß an den Magneten fixiert werden.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, einen elektrodynamischen Linearantrieb zu schaffen, bei dem auch bei sehr langgestreckten Ausführungen eine einfach zu realisierende und sichere Lagerung des Läufers möglich ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Das das Antriebsspulensystem umgreifende und haltende ferromagnetische Rohr hat eine Mehrfachfunktion und dient



2

zum einen als Führungselement für den Läufer und zum anderen als magnetisches Rückschlußglied zur magnetischen Feldführung. Ein solches ferromagnetisches Rohr kann leicht an der Außenseite durch Längsführungslager längsverschiebbar sicher und exakt geführt werden, während das Antriebsspulensystem im Inneren des Rohrs bzw. der Permanentmagnete ortsfest fixiert werden kann.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegebenen Lineardirektantriebs möglich.

Das Rohr ist in vorteilhafter Weise in einem Längskanal eines Gehäuses verschiebbar gelagert, wobei das Antriebsspulensystem in diesen Längskanal von einer Seite her hineinragt. Hierdurch sind Lineardirektantriebe mit sehr geringen Gehäusequerschnitten und großer Längserstreckung realisierbar.

Um die zentrische Position des Antriebsspulensystems im ferromagnetischen Rohr bei relativ kleinen Abständen zu den Permanentmagneten realisieren zu können, erstreckt sich ein nicht-ferromagnetisches Führungrohr entlang der radialen Innenflächen der Permanentmagnete, wobei zusätzlich am langgestreckten Kern wenigstens ein Abstützelement angeordnet ist, das entlang der Innenfläche des Führungsröhrs gleitet oder abrollt.

Die radial magnetisierten Permanentmagnete umgreifen das Antriebsspulensystem und sind insbesondere aus radial oder diametral magnetisierten Segmentmagneten oder Magnetschalen aufgebaut.

Das Führungrohr und die Permanentmagnete können einen runden, ovalähnlichen oder prismatischen Querschnitt besitzen, wobei alle nicht-runden Querschnitte gleichzeitig



eine Verdrehsicherheit gewährleisten.

Eine besonders kompakte und leicht handhabbare Anordnung wird dadurch erreicht, daß im Gehäuse eine Regel- und/oder Steuer- und/oder Leistungselektronik zur elektrischen Beaufschlagung des Antriebsspulensystems und/oder eine elektrisch betätigbare Feststelleinrichtung für den Läufer integriert ist.

Das zylindrisch gewickelte Antriebsspulensystem kann ein- oder mehrsträngig ausgebildet sein, wobei bei mehreren Spulensträngen diese in ihrem Wickelsinn jeweils alternierend in axialer Richtung auf dem Kern aufgebracht sind. Die Spulenbreite einer Spule entspricht dabei der Breite eines Permanentmagneten geteilt durch die Spulenstrangzahl.

Bei einem mehrsträngigen Antriebsspulensystem ist zweckmäßigerweise eine elektronische oder mechanische Kommutierung der Spulenstränge entsprechend ihrer jeweiligen Lage zu den Permanentmagneten des Läufers vorgesehen.

Zur Bestimmung der Läuferposition ist im Gehäuse ein Wegmeßsystem integriert, wobei vorzugsweise das Antriebsspulensystem als Wegmeßsystem ausgebildet ist.

In einer bevorzugten Ausgestaltung eines solchen integrierten Wegmeßsystems ist das Antriebsspulensystem als Differentialdrosselsystem geschaltet, in dem durch Bereiche mit unterschiedlicher magnetischer Sättigung im Eisen des Kerns, bewirkt durch die Magnete des Läufers, Induktivitätsänderungen hervorgerufen und durch die Bewegung des Läufers entsprechend verschoben werden, wobei eine die Induktivitätsverhältnisse der Teilinduktivitäten des Differentialdrosselsystems erfassende und daraus die Position



bestimmende Auswerteeinrichtung vorgesehen ist. Ein solches integriertes Wegmeßsystem ist von eigenständiger erfinderischer Bedeutung und auch für andere Lineardirektantriebe einsetzbar, bei denen eine Permanentmagnetanordnung relativ zum Antriebsspulensystem verschiebbar ist und das Antriebsspulensystem aus an einem ferromagnetischen Kern aufgereihten Spulen besteht.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische schnittartige Gesamtdarstellung eines elektrodynamischen Lineardirektantriebs als Ausführungsbeispiel der Erfindung,
- Fig. 2 eine ähnliche Anordnung in einer Teildarstellung, bei der die axiale Länge des Antriebsspulensystems die der Permanentmagnetanordnung übersteigt,
- Fig. 3 eine Darstellung zur Erläuterung der Verschaltung der Teilspulen des Antriebsspulensystems,
- Fig. 4 eine an sich bekannte Auswerteschaltung für ein als Differentialdrosselsystem ausgebildetes Wegmeßsystem und
- Fig. 5 ein Signaldiagramm zur Erläuterung der Wirkungsweise.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel eines elektrodynamischen Lineardirektantriebs enthält ein Gehäuse 10 eine Sackbohrung, in der ein ferromagnetisches Rohr 11 mittels Lagerkassetten 12 längsverschiebbar geführt ist. Die Lagerkassetten 12 greifen an der Außenfläche des Rohrs 11 an und sind als Gleit- oder Rollenlageranordnungen ausgebildet. Sie greifen in nicht näher dargestellte Längsnuten des ferromagnetischen Rohrs 11



um eine Verdrehsicherheit zu erzielen. Alternativ hierzu könnte das ferromagnetische Rohr 11 anstelle eines runden Querschnittes auch einen ovalähnlichen oder prismatischen Querschnitt aufweisen, der von sich aus bereits eine Verdrehsicherheit gewährleistet..

In dem als Führungsrohr ausgebildeten Rohr 11 sind radial oder diametral magnetisierte, aus diametral oder radial magnetisierten Segmentmagneten bzw. Magnetschalen aufgebaute Permanentmagnetringe, im folgenden als Magnete 13 bezeichnet, so angeordnet und an der Innenfläche des Rohrs 11 fixiert, daß in axialer Richtung eine alternierende Feldfolge mit radialer Felddausrichtung entsteht. Das beispielsweise als Stahlrohr ausgebildete Rohr 11 stellt den Läufer des Lineardirektantriebs dar und dient zur Aufnahme der Magnete 13, als magnetischer Rückschluß zur magnetischen Feldführung und als Führungsrohr.

Der innerhalb des Läufers angeordnete Stator besteht im wesentlichen aus einem ferromagnetischen Kern 14, der als Stahl- oder Eisenkern in Form von Rundmaterial oder Rundrohr ausgebildet sein kann, auf dem ein zylindrisch gewickeltes Antriebsspulensystem 15 aufgebracht ist. Der mit dem Antriebsspulensystem 15 versehene Kern 14 ist dabei an einem Ende an der Innenseite des Gehäuses 10 fixiert und ragt in die Sackbohrung bzw. das ferromagnetische Rohr 11 von der Innenseite des Gehäuses 10 aus hinein. Die Innenseite der Magnete 13 ist mit einem nicht-magnetischen, dünnwandigen Rohr 16 versehen bzw. verkleidet, dessen Innenfläche als Gleitfläche für ein Abstützelement 17 dient, das am freien Ende des Kerns 14 montiert ist und selbst als Gleit- oder Rollenlager ausgebildet ist. Mittels dieses Abstützelements 17 werden der Kern 14 und das Antriebsspulensystem 15 sicher innerhalb der Magnete 13 bei möglichen kleinen Spalten geführt.

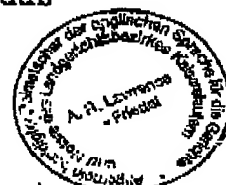


Falls das ferromagnetische Rohr 11 einen nicht-runden Querschnitt besitzt, so sind die darin enthaltenen Komponenten selbstverständlich entsprechend geformt.

Das aus dem Gehäuse 10 herausragende Ende des Läufers bzw. Rohrs 11 ist stirnseitig über ein Verbindungselement 18 mit einer Stange 19 verbunden, die parallel zum Rohr 11 in eine Bohrung des Gehäuses 10 hineinragt und in dieser geführt ist. Diese Stange 19 verläuft durch eine Feststell-einrichtung 20, mit deren Hilfe die jeweilige Position des Läufers beispielsweise elektrisch fixiert werden kann. Derartige Feststell-einrichtungen 20 sind in vielen Variationen bekannt, so daß eine nähere Beschreibung entfallen kann. Weiterhin bildet diese Stange 19 und/oder das Rohr 11 direkt in Verbindung mit einer parallel dazu verlaufenden Sensoreinrichtung 21 ein Wegmeßsystem zur Erfassung der jeweiligen Position des Läufers. Wie später noch näher erläutert wird, können die Sensoreinrichtung 21 und das entsprechende Wegmeßsystem auch entfallen, indem das Antriebsspulensystem 15 als Differentialdrosselsystem geschaltet zusätzlich als Wegmeßsystem dient.

Im Gehäuse 10 sind weiterhin eine Leistungselektronik 22 und eine Steuer- und/oder Regелеlektronik 23 integriert. Die elektrischen Komponenten sind dabei mittels Leitungen untereinander verbunden, wobei insbesondere das Antriebsspulensystem 15 mittels einer Leitung 24 mit der Leistungselektronik 22 verbunden ist.

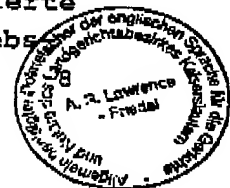
Das Antriebsspulensystem 15 kann ein- oder mehrsträngig aufgebaut sein, wobei die entsprechenden Spulenstränge in ihrem Wickelsinn jeweils alternierend in axialer Richtung aufgebracht sind. Die Spulenbreite muß in Abhängigkeit der Breite der verwendeten Magnete 13 in der Teilung der Spulenstranganzahl ausgelegt werden. Dies bedeutet, daß



bei dem im Ausführungsbeispiel dargestellten zweisträngigen Antriebsspulensystem 15 die Spulenbreite einer Teilspule der halben Breite eines Magneten 13 entspricht. Bei der Verwendung von mehrsträngigen Spulensystemen ist eine Kommutierung der Spulenstränge entsprechend ihrer Lage zu den Magneten 13 des Läufers notwendig. Eine solche an sich bekannte Kommutierung ist nicht näher dargestellt und kann elektronisch oder mechanisch erfolgen.

Die Länge des Antriebsspulensystems 15 im Verhältnis zur Länge des permanentmagnetisch erregten Läufers ist vom Verwendungszweck abhängig. Gemäß Fig. 1 ist das Antriebsspulensystem 15 kürzer als die Gesamtzahl der Magnete 13 der Permanentmagnetanordnung. Hierdurch wird das Antriebsspulensystem optimal ausgenutzt, und ein Teil des permanentmagnetischen Läufers wird temporär nicht genutzt. Durch die optimale Ausnutzung des Antriebsspulensystems wird ein günstigerer Wirkungsgrad erreicht, allerdings steigt dabei die Masse des Läufers.

In Fig. 2 ist in einer vergrößerten Teildarstellung lediglich eines Stators und eines Läufers der andere Fall dargestellt, das heißt, das dort dargestellte Antriebsspulensystem 25 ist länger als die aus vier Magneten 26 bestehende Permanentmagnetanordnung, also länger als der entsprechende Läufer. Entsprechend verkürzt sich ein die Magnete 26 aufnehmendes ferromagnetisches Rohr 27 und ein inneres nicht-magnetisches, dünnwandiges Rohr 28. Bei dieser Anordnung läßt sich das Magnetvolumen bestmöglich ausnutzen, wobei dann die teilweise ungenutzten Spulenbereiche unnötige Wärme erzeugen. Dagegen wird die Läufermasse bei einer solchen Anordnung reduziert, was die dynamischen Eigenschaften verbessert. In Fig. 2 sind die magnetischen Feldlinien schematisch durch strichpunktierte Linien und der Wicklungssinn der Teilspulen des Antriebs



spulensystems 15 durch übliche Symbole gekennzeichnet.

Als Versorgung des in Fig. 1 dargestellten elektrodynamischen Lineardirektantriebs werden lediglich eine nicht dargestellte Stromversorgungsverbindung und eine Steuerverbindung zu einer externen Zentrale benötigt, zum Beispiel ein Feldbus oder Binärbus. Alle Initialisierungs- und Regelvorgänge werden von der integrierten Elektronik übernommen, was die Einheit sehr leicht handhabbar macht und den Verdrahtungsaufwand minimiert.

Die Funktionsweise der integrierten Wegmessung beruht nicht wie bei dem eingangs angegebenen Stand der Technik auf der Messung von beweglichen hochpermeablen Kernen in Differentialdrosselsystemen, sondern auf der Vermessung von durch Sättigungerscheinungen im Kern hervorgerufenen Induktivitätsänderungen, welche durch die Bewegung des infolge der Magnete 13 permanentmagnetischen Läufers verschoben werden und so zu Induktivitätsänderungen über dem Weg führen, die dann beispielsweise durch das aus dem eingangs angegebenen Stand der Technik bekannte Verfahren erfaßt werden können.

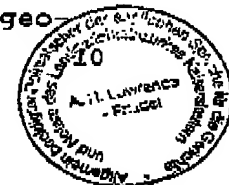
In Fig. 2 ist der prinzipielle Feldverlauf des Linearantriebs mit allen wichtigen Komponenten dargestellt. Auf Grund der Feldführung durch den Kern 14 ergeben sich unterschiedlich starke Induktionsverläufe. Diese lassen sich in Bereiche mit schwacher Induktion, das heißt auch schwacher magnetischer Sättigung im Eisen, und Bereiche mit starker Induktion, das heißt starker magnetischer Sättigung im Eisen, unterteilen. Aus dem Zusammenhang der Induktion mit der bekannten BH-Magnetisierungslinie des verwendeten Eisenwerkstoffes (B = Induktion; H = Feldstärke), die sich auch in einer μB -Kennlinie darstellen läßt, ergibt sich ein bestimmter Permeabilitätsverlauf (μ) im Eisenkern in axialer Richtung.



Dieser Permeabilitätsverlauf ist verknüpft mit den Permanentmagneten des Läufers und damit auch mit der Läuferposition. Elektrisch läßt sich diesere Permeabilitätsverlauf für die Positionserfassung über die Spuleninduktivität des Antriebsspulensystems 25 nutzen. Die Spuleninduktivität ist vom magnetischen Widerstand und der Windungszahl abhängig. Der magnetische Widerstand wiederum ist neben dem Materialvolumen oder der Fläche und der magnetischen Länge der Feldsegmente (beim Ausführungsbeispiel konstant) von der Permeabilität abhängig.

Um das Prinzip der integrierten Wegmessung nun nutzen zu können, muß das Antriebsspulensystem 25 bzw. 15 so gestaltet werden, daß ein Differentialdrosselsystem entsteht. Dies ist in Fig. 3 anhand von zwei Teilspulen 29, 30 des beim Ausführungsbeispiel verwendeten Antriebsspulensystems 25 bzw. 15 erläutert. Bei diesem zweisträngigen Spulensystem, bei dem in axialer Richtung jede zweite Teilspule 29, 30 in Serie geschaltet einen Strang ergibt, werden diese Teilspulen 29, 30 nochmals in Spulenbereiche 29a bzw. 29b und 30a bzw. 30b unterteilt und so gewickelt, daß sich ein zweigeteilter Strang ergibt, in dem jeder erste Teilbereich 29a einer Teilspule 29 mit jedem weiteren ersten Spulenbereich 30a einer Teilspule 30 desselben Stranges in Serie zu einem Halbstrang (dem Hinstrang) geschaltet ist und jeder zweite Spulenbereich 29b, 30b der Teilspule 29, 30 ebenfalls in Serie zu einem zweiten Halbstrang (dem Rückstrang) verschaltet sind. Die Verbindungsstelle zwischen Hin- und Rückstrang wird als Mittelanzapfung 31 zwischen den Endanschlüssen 32, 33 ebenfalls herausgeführt.

Mit jedem weiteren Strang wird in seiner Verschaltung ebenso verfahren. Da nun der wechselnde Permeabilitätsverlauf in den jeweiligen Spulen eines Halbstranges geo-



stränge 34, 35 des Vollstranges des Antriebsspulensystems 25 bzw. 15 in Reihe geschaltet. Die Ansteuerung erfolgt durch eine pulswertenmodulierte Rechteckspannung U_{PWM} , die in einem als Mikroprozessor ausgebildeten Positions- oder Bahnregler 36 erzeugt und über eine Treiberstufe 37 an die Halbstränge 34, 35 angelegt wird.

Zur Messung der Induktivitätsänderung werden die über den Halbsträngen 34, 35 abfallenden Spannungen U_{m1} und U_{m2} getrennt über jeweils einen Meßverstärker 38, 39 entkoppelt und im Signalpegel an die nachfolgende elektronische Auswerteschaltung angepaßt. An den Ausgängen der Meßverstärker 38, 39 liegen somit die Abbildungen der Teilspannungen über den Halbsträngen 34, 35 an. Durch eine elektronische Differenzierung in den nachgeschalteten Differenzierungsstufen 40, 41 der Spannungssignale am Ausgang der Meßverstärker 38, 39 jeweils kurz nach dem Umschalten des pulswertenmodulierten Stellsignals läßt sich das Induktivitätsverhältnis beider Halbstränge 34, 35 getaktet mit der Pulsfrequenz bestimmen. Durch Subtraktion der Steigungswerte der Spannungen beider Halbstränge 34, 35 mittels einer Subtraktionsstufe 42 läßt sich die Genauigkeit der Erfassung des Induktivitätsverhältnisses durch Eliminieren von Gleichspannungsstörungen steigern. Wird die Erfassung des Induktivitätsverhältnisses immer zum selben Zeitpunkt nach dem Umschalten des Stellsignals durchgeführt und im Ausführungsbeispiel in einem "Sample-and-Hold"-Glied 43, 44 zwischengespeichert, ergibt sich am Ausgang der Subtraktionsstufe 42 somit ein wegabhängiges, quasi-kontinuierliches Gleichspannungssignal. Dieses Signal ist in weiten Bereichen linear von der Läuferposition abhängig, entspricht also dem jeweiligen Positions-Istwert x_{ist} des Läufers.

Das am Ausgang der Subtraktionsstufe 42 liegende Signal



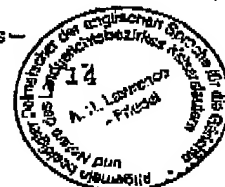
x_{ist} wird nun zur Regelung eingesetzt, indem man dieses Signal mit einem vorgegebenen Positions-Sollwert x_{soll} koppelt und daraus die Regeldifferenz bildet. Dies erfolgt im Positions- oder Bahnregler 36. Damit kann mittels der beschriebenen Anordnung sowohl die Stellbewegung realisiert als auch ein Wegsignal erzeugt werden.

Das beschriebene integrierte Wegmeßsystem ist nicht nur für elektrodynamische Lineardirektantriebe gemäß den Ausführungsbeispielen einsetzbar, sondern kann auch für andere elektrodynamische Lineardirektantriebe eingesetzt werden, die in der Konstruktion von den Ausführungsbeispielen abweichen.



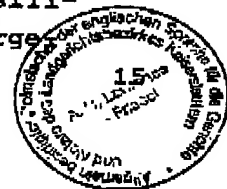
Ansprüche

1. Elektrodynamischer Lineardirektantrieb mit einem aus mehreren, nebeneinander an einem ferromagnetischen, langgestreckten Kern (14) aufgereihten Spulen bestehenden Antriebsspulensystem (15; 25), das von einer getakteten Erregerspannung beaufschlagbar ist, und mit einem das Antriebsspulensystem (15; 25) umgreifenden ferromagnetischen Rohr (11; 27), an dessen Innenseite mehrere Permanentmagnete (13; 26) in der Längsrichtung des Rohrs (11; 27) nebeneinander aufgereiht sind, wobei der mit dem Antriebsspulensystem (15; 25) versehene Kern (14) als Stator und das mit den Permanentmagneten (13; 26) versehene Rohr (11; 27) als Läufer ausgebildet ist.
2. Lineardirektantrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Rohr (11; 27) in einem Längskanal eines Gehäuses (10) verschiebbar gelagert ist, wobei das Antriebsspulensystem (15; 25) in diesen Längskanal von einer Seite her hineinragt.
3. Lineardirektantrieb nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein sich entlang der radialen Innenflächen der Permanentmagnete (13; 26) erstreckendes, nicht-ferromagnetisches Führungsrohr (16; 28) vorgesehen ist, und daß am langgestreckten Kern (14) wenigstens ein Abstützelement (17) angeordnet ist, das entlang der Innenfläche des Führungsrohrs (16; 28) bei der Bewegung des Läufers gleitet oder abrollt.
4. Lineardirektantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die radial magnetisierten Permanentmagnete (13; 26) das Antriebs-



spulensystem (15; 25) umgreifen und insbesondere aus radial oder diametral magnetisierten Segmentmagneten oder Magnetschalen aufgebaut sind.

5. Lineardirektantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Führungsrohr (11; 27) und die Permanentmagnete (13; 26) einen runden, ovalähnlichen oder prismatischen Querschnitt besitzen.
6. Lineardirektantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Gehäuse (10) eine Regel- und/oder Steuer- und/oder Leistungselektronik (22, 23) zur elektrischen Beaufschlagung des Antriebs-
spulensystems (15; 25) integriert ist und/oder daß eine elektrisch betätigbare Feststelleinrichtung (20) für den Läufer im Gehäuse (10) angeordnet ist.
7. Lineardirektantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zylindrisch gewickelte Antriebsspulensystem (15; 25) ein- oder mehrsträngig ausgebildet ist, wobei bei mehreren Spulensträngen diese in ihrem Wickelsinn jeweils alternierend in axialer Richtung auf dem Kern aufgebracht sind.
8. Lineardirektantrieb nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenbreite einer Spule des Antriebsspulensystems (15; 25) der Breite eines Permanentmagneten (13) geteilt durch die Spulenstrangzahl entspricht.
9. Lineardirektantrieb nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem mehrsträngigen Antriebsspulensystem (15; 25) eine elektronische oder mechanische Kommutierung der Spulenstränge entsprechend ihrer jeweiligen Lage zu den Permanentmagneten (13) des Läufers vorge-
sehen ist.



10. Lineardirektantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Gehäuse (10) ein Wegmeßsystem (21) zur Bestimmung der Läuferposition integriert ist, wobei insbesondere das Antriebs-
spulensystem (15; 25) als Wegmeßsystem ausgebildet ist.

11. Elektrodymanischer Linearantrieb mit einem aus mehreren, nebeneinander an einem ferromagnetischen Kern (14) aufgereihten Spulen bestehenden Antriebsspulensystem (15; 25), das von einer getakteten Erregerspannung beaufschlagbar ist, und mit einer als Läufer ausgebildeten, aus mehreren, in einer Längsrichtung nebeneinander angeordneten Permanentmagneten (13; 26) bestehenden Permanentmagnetanordnung, die relativ zum Antriebs-
spulensystem (15; 25) verschiebbar ist, wobei das Antriebsspulensystem (15; 25) auch Bestandteil eines Wegmeßsystems für den Läufer ist, insbesondere nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Antriebs-
spulensystem (15; 25) als Differentialdrosselsystem (34, 35) geschaltet ist, indem durch Bereiche mit unterschiedlicher Eisensättigung im Kern (14), bewirkt durch die Permanentmagnete (13; 26) des Läufers, Induktivitätsänderungen hervorgerufen und durch die Bewegung des Läufers entsprechend verschoben werden, und daß eine die Induktivitätsverhältnisse der Teilinduktivitäten (L_1 , L_2) des Differentialdrosselsystems (34, 35) erfassende und daraus die Läuferposition bestimmende Auswerteeinrichtung (36 - 44) vorgesehen ist.



Zusammenfassung

Es wird ein elektrodynamischer Lineardirektantrieb mit einem aus mehreren nebeneinander an einem ferromagnetischen, langgestreckten Kern (14) aufgereihten Spulen bestehenden Antriebsspulensystem (15) vorgeschlagen, das von einer getakteten Erregerspannung beaufschlagbar ist. Das Antriebsspulensystem (15) wird von einem ferromagnetischen Rohr (11) umgriffen, an dessen Innenseite mehrere Permanentmagnete (13) in der Längsrichtung des Rohrs (11) nebeneinander aufgereiht sind. Der mit dem Antriebsspulensystem (15) versehene Kern (14) ist als Stator und das mit dem Permanentmagneten (13) versehene Rohr (11) als Läufer ausgebildet. Bei dieser Anordnung dient das ferromagnetische Rohr in vorteilhafter Weise als Führungsrohr, als magnetisches Rückschlußglied und als Halterung für die Permanentmagnete, wobei durch die Möglichkeit einer einfachen und exakten Längsführung des Rohrs (11) langgestreckte Ausführungen mit geringem Querschnitt realisierbar sind.

(Figur 1)

